

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-145172  
(43)Date of publication of application : 20.05.2004

(51)Int.Cl. G10L 15/20  
G01S 3/802  
G10L 15/28  
G10L 21/02

(21)Application number : 2002-312204

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

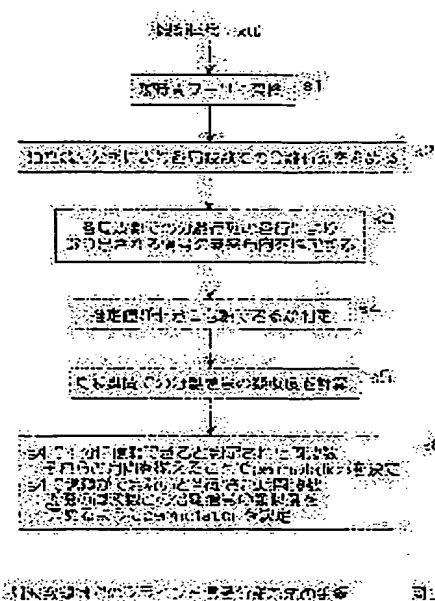
(22)Date of filing : 28.10.2002

(72)Inventor : SAWADA HIROSHI  
MUKAI MAKOTO  
ARAKI AKIKO  
MAKINO SHOJI

(54) METHOD, APPARATUS AND PROGRAM FOR BLIND SIGNAL SEPARATION, AND RECORDING MEDIUM WHERE THE PROGRAM IS RECORDED

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To highly accurately solve a permutation of blind signal separation by combining a solution of permutation by the arrival direction of a signal and a solution of permutation by the similarity of a separated signal.  
SOLUTION: When the permutation is solved after (s1) performing short time Fourier transformation of an observation signal, (s2) finding separation matrixes at each frequency by independent component analysis, (s3) estimating arrival directions of signals extracted from each row of the separation matrixes at each frequency, (s4) judging whether the estimated values are reliable enough, (s5) calculating similarities of separated signals between frequencies, and (s6) finding separation matrixes at each frequency, a permutation is determined by making uniform the arrival directions of the signals at frequencies at which it is judged the estimation of the arrival directions are reliable enough, or a permutation is so determined at other frequencies that similarities of the separated signals to nearby frequencies increase.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.01.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-145172

(P2004-145172A)

(43) 公開日 平成16年5月20日(2004.5.20)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
G10L 15/20	G10L 3/02 301Z	5D015
G01S 3/802	G01S 3/802	5J083
G10L 15/28	G10L 9/00 F	
G10L 21/02	G10L 3/00 511	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2002-312204 (P2002-312204)  
 (22) 出願日 平成14年10月28日 (2002.10.28)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成14年9月26日 社団法人日本音響学会発行の「日本音響学会2002年秋季研究発表会講演論文集-1-」に発表

(71) 出願人 000004226  
 日本電信電話株式会社  
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号  
 (74) 代理人 100066153  
 弁理士 草野 卓  
 (74) 代理人 100100642  
 弁理士 稲垣 稔  
 (72) 発明者 澤田 宏  
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
 (72) 発明者 向井 良  
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

最終頁に続く

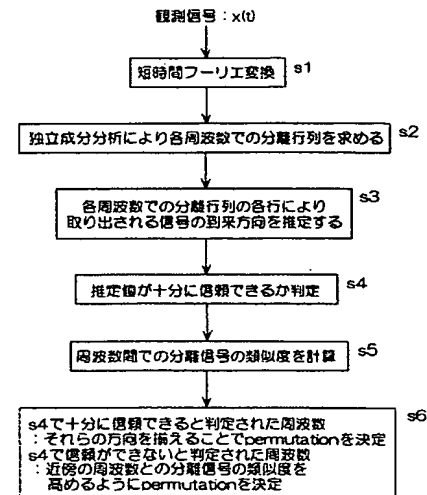
(54) 【発明の名称】 ブラインド信号分離方法及び装置、ブラインド信号分離プログラム並びにそのプログラムを記録した記録媒体

(57) 【要約】

【課題】 ブラインド信号分離における permutation を信号の到来方向による permutation の解法と分離信号の類似度による permutation の解法を組み合わせることで高い精度で解決する。

【解決手段】 (s1) 観測信号を短時間フーリエ変換し、(s2) 独立成分分析により各周波数での分離行列を求め、(s3) 各周波数での分離行列の各行により取り出される信号の到来方向を推定し、(s4) その推定値が十分に信頼できるかどうかを判定し、(s5) 周波数間での分離信号の類似度を計算し、(s6) 各周波数で分離行列を求めた後でパーミュテーション (permutation) を解決する際に、信号の到来方向の推定が十分に信頼できると判定された周波数ではそれらの方向を揃えることで permutation を決定し、その他の周波数では近傍の周波数との分離信号の類似度を高めるように permutation を決定する。

【選択図】 図3



周波数領域でのブラインド信号分離方法の手順 図3

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

観測信号を短時間フーリエ変換する手順と、  
独立成分分析により短時間フーリエ変換した各周波数での分離行列を求める手順と、  
各周波数での分離行列の各行により取り出される信号の到来方向を推定する手順と、  
その推定値が十分に信頼できるかどうかを判定する手順と、  
短時間フーリエ変換した周波数間での分離信号の類似度を計算する手順と、  
各周波数で分離行列を求めた後でパーミュテーション ( p e r m u t a t i o n ) を解決  
する際に、  
信号の到来方向の推定が十分に信頼できると判定された周波数ではそれらの方向を揃える 10  
ことで p e r m u t a t i o n を決定し、その他の周波数では近傍の周波数との分離信号  
の類似度を高めるように p e r m u t a t i o n を決定していく手順を有する、ことを特  
徴とするブラインド信号分離方法。

## 【請求項 2】

観測信号を短時間フーリエ変換する手段と、  
独立成分分析により短時間フーリエ変換した各周波数での分離行列を求める手段と、  
各周波数での分離行列の各行により取り出される信号の到来方向を推定する手段と、  
その推定値が十分に信頼できるかどうかを判定する手段と、  
短時間フーリエ変換した周波数間での分離信号の類似度を計算する手段と、  
各周波数で分離行列を求めた後でパーミュテーション ( p e r m u t a t i o n ) を解決 20  
する際に、  
信号の到来方向の推定が十分に信頼できると判定された周波数ではそれらの方向を揃える  
ことで p e r m u t a t i o n を決定し、その他の周波数では近傍の周波数との分離信号  
の類似度を高めるように p e r m u t a t i o n を決定していく手段と、を備えたことを  
特徴とするブラインド信号分離装置。

## 【請求項 3】

観測信号を短時間フーリエ変換する処理と、  
独立成分分析により短時間フーリエ変換した各周波数での分離行列を求める処理と、  
各周波数での分離行列の各行により取り出される信号の到来方向を推定する処理と、  
その推定値が十分に信頼できるかどうかを判定する処理と、 30  
短時間フーリエ変換した周波数間での分離信号の類似度を計算する処理と、  
各周波数で分離行列を求めた後でパーミュテーション ( p e r m u t a t i o n ) を解決  
する際に、  
信号の到来方向の推定が十分に信頼できると判定された周波数ではそれらの方向を揃える  
ことで p e r m u t a t i o n を決定し、その他の周波数では近傍の周波数との分離信号  
の類似度を高めるように p e r m u t a t i o n を決定していく処理と、をコンピュータ  
に実行させるためのブラインド信号分離プログラム。

## 【請求項 4】

観測信号を短時間フーリエ変換する処理と、  
独立成分分析により短時間フーリエ変換した各周波数での分離行列を求める処理と、 40  
各周波数での分離行列の各行により取り出される信号の到来方向を推定する処理と、  
その推定値が十分に信頼できるかどうかを判定する処理と、  
短時間フーリエ変換した周波数間での分離信号の類似度を計算する処理と、  
各周波数で分離行列を求めた後でパーミュテーション ( p e r m u t a t i o n ) を解決  
する際に、  
信号の到来方向の推定が十分に信頼できると判定された周波数ではそれらの方向を揃える  
ことで p e r m u t a t i o n を決定し、その他の周波数では近傍の周波数との分離信号  
の類似度を高めるように p e r m u t a t i o n を決定していく処理と、をコンピュータ  
に実行させるためのブラインド信号分離プログラムを記録した記録媒体。

## 【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【 発明の属する技術分野 】

本発明は信号処理の技術分野に属し、複数の信号が空間内で混合されたものから、源信号をできるだけ正確に復元する信号分離の技術に関する。

本技術により、様々な妨害信号が発生する実環境において、目的の信号を精度良く取り出すことが可能となる。音信号に対する応用例としては、音声認識器のフロントエンドとして働く音源分離システムなどが挙げられる。話者とマイクが離れた位置にあり、マイクが話者の音声以外を收音してしまうような状況でも、そのようなシステムを使うことで話者の音声のみを取り出して正しく音声を認識することができる。

【 0 0 0 2 】

10

【 従来の技術 】

[ ブラインド信号分離 ]

まず、ブラインド信号分離の定式化を行う。

N個の信号が混合されてM個 ( $M \geq N$ ) のセンサで観測されたとする。本発明では、信号の発生源からセンサまでの距離により信号が減衰・遅延し、また壁などにより信号が反射して残響が発生する状況を扱う。このような状況での混合は、源信号  $s_p(t)$  ( $t$ : 時刻、 $1 \leq p \leq N$ ) からセンサ  $x_q(t)$  ( $1 \leq q \leq M$ ) へのインパルス応答  $h_{qp}(k)$  による畳み込み混合

【 数 1 】

$$x_q(t) = \sum_{p=1}^N \sum_k h_{qp}(k) s_p(t-k) \text{ となる。}$$

20

ブラインド信号分離の目的は、源信号  $s_p(t)$  やインパルス応答  $h_{qp}(k)$  を知らずに、観測信号  $x_q(t)$  のみから、分離のための FIR (Finite Impulse Response) フィルタの係数  $w_{rq}(k)$  と分離信号

【 数 2 】

$$y_r(t) = \sum_{q=1}^M \sum_k w_{rq}(k) x_q(t-k) \text{ を求めることにある。}$$

図 1 に  $N = M = 2$  である場合のブラインド信号分離の概要を説明するための図を示す。 30  
一般に源信号  $s_p(t)$  は互いに独立であるため、独立成分分析 (ICA: Independent Component Analysis) を用いて分離のためのフィルタ係数  $w_{rq}(k)$  を計算できる。ICAを用いた信号分離の手法には様々なものがあるが、残響に対処するためには周波数領域での手法が有効である。上記の畳み込み混合の問題を、周波数毎の瞬時混合の問題に置き換えることができるからである。

【 0 0 0 3 】

[ 周波数領域でのブラインド信号分離 ]

図 2 に周波数領域で独立成分分析を用いるブラインド信号分離装置の構成を示す。

周波数領域の手法では、フィルタ係数  $w_{rq}(k)$  を直接計算するのではなく、その周波数応答  $W_{rq}(f)$  をICAを用いて計算する。そのために、まず、センサ  $q$  での観測信号  $x_q(t)$  に短時間離散フーリエ変換を適用して  $X_q(f, m)$  を求める。ここで  $f$  は周波数、 $m$  はフレーム番号である。

40

次に、各周波数  $f$  で瞬時混合のICA:

【 外 1 】

$Y(f, m) = W(f) X(f, m)$  を解く。

ここで  $W(f)$  は要素  $W_{r,q}(f)$  である  $P \times Q$  の行列であり、 $X(f, m) = [X_1(f, m), \dots, X_Q(f, m)]^T$ ,  $Y(f, m) = [Y_1(f, m), \dots, Y_P(f, m)]^T$  である。

例えば、 $N = M = 2$  である場合 (図 1 参照) は

$$\begin{bmatrix} Y_1(f, m) \\ Y_2(f, m) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11}(f) & W_{12}(f) \\ W_{21}(f) & W_{22}(f) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1(f, m) \\ X_2(f, m) \end{bmatrix} \quad (1)$$

10

となる。

ICA では、 $W(f)$  の行が入れ替わっても  $Y(f, m)$  の独立性は保たれる。

例えば、 $N = M = 2$  である場合は、式 (1) おいて  $W(f)$  の 1 行目

$[W_{11}(f) \quad W_{12}(f)]$  が  $Y_1(f, m)$  を生成しており、2 行目  $[W_{21}(f) \quad W_{22}(f)]$

が  $Y_2(f, m)$  を生成している。もし仮に  $W(f)$  の 1 行目と 2 行目を入れ替えた

としても、 $Y_1(f, m)$  と  $Y_2(f, m)$  が入れ替わるだけで、 $Y(f, m)$  の独立性は

20

保たれる。以上のことから、任意の 2 つの周波数  $f_1$  と  $f_2$  の間で

$Y_r(f_1, m)$  と  $Y_r(f_2, m)$  が同じ源信号に対応しているとは限らない。

従って、周波数間で  $Y_r(f, m)$  が同じ源信号に属するように、 $W(f)$  の行を

揃える必要がある。これがパーミュテーション (permutation) の問題である。これを解決した後、 $W_{r,q}(f)$  に逆離散フーリエ変換を施すことで、分離のためのフィルタ係数  $w_{r,q}(k)$  が最終的に求まる。以下、permutation の問題を解決する従来技術を 2 つ紹介する

30

【0004】

〔信号の到来方向による permutation の解法〕

1 つ目の従来技術は、信号の到来方向を推定することによる permutation の解法である (例えば、非特許文献 1 参照)。

センサの間隔が適度に狭ければ、独立成分分析によって得られる分離行列の各行は、ある方向から到来する信号を取り出しながら、別の方向から到来する信号を抑圧するという周波数領域でのフィルタを形成している。各周波数におけるこのような状況を解析し、分離行列の各行が取り出している信号の到来方向  $\Theta(f) = [\theta_1(f), \dots, \theta_P(f)]^T$  を推定できれば、permutation を解決することができる。

40

到来方向の推定を行う代表的な方法として、指向特性をプロットするものが知られている。その方法はまず、混合系のインパルス応答を直接波のみで近似し、さらに平面波を仮定する。源信号  $s_p$  の到来方向を  $0^\circ \leq \theta_p \leq 180^\circ$  (センサの並びと垂直な方向が  $90^\circ$ )、センサ  $q$  の位置を  $d_q$  とすると、混合系の周波数応答は  $H_{q,p}(f) = \exp(j 2\pi f c^{-1} d_q \cos \theta_p)$  と表現できる ( $c$  は信号の速度)。すると、角度  $\theta_p$  にある源信号  $s_p$  から分離信号  $y_r$  への周波数応答

【数 3】

$$\sum_q W_{r,q}(f) \cdot H_{q,p}(f) \text{ として、指向特性}$$

$$B_r(f, \theta_p) = \sum_q W_{r,q}(f) \cdot \exp(2\pi f c^{-1} d_q \cos \theta_p)$$

が求まる。

【 0 0 0 5 】

図 7 は、ある 2 つの周波数に関して、指向特性のゲインをプロットしたものである。まず周波数 3 1 5 2 H z を見ると、分離行列の 1 行目  $Y_1$  が与える指向特性は  $41^\circ$  でゲインが最小となっており、2 行目  $Y_2$  が与える指向特性は  $132^\circ$  でゲインが最小となっている。このことから、分離行列の 1 行目  $Y$  は  $41^\circ$  から到来する信号を抑圧して  $132^\circ$  から到来する信号を取り出し、逆に分離行列の 2 行目  $Y_2$  は  $132^\circ$  から到来する信号を抑圧して  $41^\circ$  から到来する信号を取り出している。従って、 $\Theta(3152 \text{ Hz}) = [132, 41]^\top$  と推定できる。同様に周波数 3 1 5 6 H z においては、 $\Theta(3156 \text{ Hz}) = [45, 126]^\top$  と推定できる。明らかに現状では permutation が揃っていないため、3 1 5 2 H z の分離行列の行を入れ替えて permutation を揃える必要がある。

以上の方法により、分離行列の各行が取り出している信号の到来方向を周波数毎に推定し、それらの方向を揃えることにより permutation を解決することができる。しかし、いくつかの周波数では、ゲインが最小となる角度  $0^\circ \leq \theta_p \leq 180^\circ$  に存在せず、到来方向の推定が得られない場合もある。また、推定値が他の周波数と大きく異なるため信頼度の低い推定となることもある。特に低周波数では、方向の差から生じる位相差が小さいため、そのような場合が多い。従って、それらの周波数では permutation が決定できなかったり間違えたりする。

【 0 0 0 6 】

〔分離信号の類似度による permutation の解法〕

2 つ目の従来技術は、分離信号の類似度による permutation の解法である（例えば、非特許文献 2 参照）。

ある 2 つの周波数での分離信号  $Y_r(f_1, m)$  と  $Y_r(f_2, m)$  の類似度は、それらの絶対値の包絡線に関する相関を用いて計算する。

まず相関の定義を行う。

2 つの信号  $x(n)$  と  $y(n)$  の相関は  $\text{cor}(x, y) = [\langle x \cdot y \rangle - \langle x \rangle \cdot \langle y \rangle] / (\sigma_x \cdot \sigma_y)$  で与えられる。ここで  $\langle \cdot \rangle$  は時間平均、 $\sigma$  は標準偏差である。 $\text{cor}(x, x) = 1$  であり、 $x$  と  $y$  が無相関ならば  $\text{cor}(x, y) = 0$  である。

ある 2 つの周波数での分離信号  $Y_r(f_1, m)$  と  $Y_r(f_2, m)$  は、たとえこれらが同じ源信号に対応していても、それらの相関は小さい。これはフーリエ変換が直交変換の性質をもつからである。一方、分離信号  $Y_r(f, m)$  の絶対値の包絡線（ $R$  は移動平均を取る長さを決定するパラメータ）

〔数 4〕

$$V_r(f, n) = \frac{1}{2R+1} \sum_{|m-n| \leq R} |Y_r(f, m)| \quad (2)$$

は分離信号  $Y_r(f, m)$  自身と違い、同じ源信号に対応する場合、特に近傍の周波数で高い相関を持つことが知られている。従ってこれらの相関を計算することで permutation を解決できる。以後の説明では、permutation を  $\pi: \{1, \dots, N\} \rightarrow \{1, \dots, N\}$  で表現する。例えば  $N=2$  である場合、permutation を変更しなければ  $\pi(1) = 1, \pi(2) = 2$  であり、permutation を入れ替えれば  $\pi(1) = 2, \pi(2) = 1$  である。従来技術としては、周波数の差  $D$  以下の近傍で相関の和が最も大きくなるように

〔数 5〕

$$\pi_f = \arg \max_{\pi} \sum_{|g-f| \leq D} \sum_{p=1}^N \text{cor}[V_{\pi(p)}(f), V_{\pi(g)}(g)] \quad (3)$$

に基づき周波数  $f$  での permutation  $\pi_f$  を求めていく方法が存在する。ここで  $\pi_g$  は周波数  $g$  での permutation である。

【0007】

【非特許文献1】

S. Kurita, H. Saruwatari, S. Kajita, K. Takeda, and F. Itakura, "Evaluation of blind signal separation method using directivity pattern under reverberant conditions," in Proc. ICASSP2000, 2000, pp. 3140-3143 10

【非特許文献2】

S. Ikeda and N. Murata, "An approach to blind source separation of speech signals," in Proc. ICANN '98, Sep. 1998, pp. 761-766

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

従来の技術として紹介した permutation の解決方法は、それぞれ以下の欠点がある。 20

1つ目の信号の到来方向によるものでは、実際に起こる信号の減衰や残響を考慮せず、混合系のインパルス応答を直接波のみで近似し平面波を仮定して方向を推定している。そのため、従来の技術で説明したように、いくつかの周波数で方向が推定できないこと、あるいは推定できたとしても信頼度の低い推定となることがある。その結果、それらの周波数では permutation が決定できなかったり間違えたりする。全体としてみると、いくつかの周波数でどうしても permutation を間違えるため、高精度に permutation を解決しているとは言えない。

一方、2つ目の分離信号の類似度によるものは、式(3)に従って permutation を解決するため、すべての周波数ビン(bin)で permutation が決定できる。また、分離信号そのものを用いているため、その精度は、近似を行っている1つ目の到来方向によるものより高い。しかし、近傍の周波数との相対的な関係により permutation を決定していくため、どこかの周波数で間違えれば、その先の周波数すべてにおいて間違えることになる。従って、すべての周波数で正しい permutation が得られれば良いが、どこかの周波数で間違えた場合の被害は甚大であるため、安定性に欠けるといえる点で実用的ではない。 30

そこで本発明の目的は、上記2つの方法を統合してお互いの欠点を補間し合い、高精度で安定性のある permutation の解決方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明は、 40

観測信号を短時間フーリエ変換し、

独立成分分析により各周波数での分離行列を求め、

各周波数での分離行列の各行により取り出される信号の到来方向を推定し、

その推定値が十分に信頼できるかどうかを判定し、

到来方向の推定値から permutation を決定し、

周波数間での分離信号の類似度を計算し、

指定された(推定値が十分に信頼できる)周波数の permutation は変更せずに、指定されない周波数では近傍の周波数との分離信号の類似度に基づき permutation を決定することを特徴とする。

【0010】

## 【発明の実施の形態】

〔周波数領域で独立成分分析を用いる信号分離の構成〕

図2は、周波数領域で独立成分分析を用いるブラインド信号分離装置のブロック図である。

その詳細は従来の技術で説明した。本発明は、この中の permutation 解決部に特徴を有する。

図3に本発明のブラインド信号分離方法の手順を示す。

- s 1 : 観測信号を短時間フーリエ変換し、
- s 2 : 独立成分分析により各周波数での分離行列を求め、
- s 3 : 各周波数での分離行列の各行により取り出される信号の到来方向を推定し、
- s 4 : その推定値が十分に信頼できるかどうかを判定し、
- s 5 : 周波数間での分離信号の類似度を計算し、
- s 6 : 各周波数で分離行列を求めた後で permutation を解決する際に、信号の到来方向の推定が十分に信頼できると判定された周波数ではそれらの方向を揃えることで permutation を決定し、その他の周波数（信号の到来方向の推定が信頼できないと判定された周波数）では近傍の周波数との分離信号の類似度を高めるように permutation を決定する。

【0011】

〔本発明の構成〕

図4は、本発明の permutation 解決部の構成例を示すブロック図である。

permutation 解決部は、信号の到来方向による permutation 解決部と、分離信号の類似度による permutation 解決部で構成される。

信号の到来方向による permutation 解決部では、

〔外2〕

独立成分分析の結果である分離行列  $W(f)$  を入力とし、各周波数において分離行列の各行がどの方向から到来する信号を取り出しているかを推定することで permutation を解決し、その結果  $W'(f)$  を出力する。同時に、周波数の集合  $fix$  も出力する。 $fix$  の要素となる周波数では、到来方向の推定値が信頼できるため、それによる permutation の解決結果  $W'(f)$  を以降の処理で変更しない。分離信号の類似度（相関）による permutation 解決部では、 $fix$  に含まれない周波数に対して、既に permutation が決まっている周波数との分離信号の類似度を計算することで permutation を解決し、最終結果  $W''(f)$  を出力する。

【0012】

〔信号の到来方向による permutation の解決〕

図5は、信号の到来方向による permutation 解決部の構成を示すブロック図である。

到来方向による permutation 解析部では、従来の技術で説明した方法などを用いて、周波数毎に分離行列の各行がどの方向の信号を取り出しているかを解析して  $\Theta(f)$  を出力する。方向による permutation 決定部では、各周波数において推定された信号の到来方向  $\Theta(f)$  に基づき、

〔外3〕



分離行列 $W(f)$ の行をソートしてその結果を $W'(f)$ とすることで permutation を解決していく。 $\Theta(f)$ が得られなかった周波数においては、 $W(f)$ をそのまま $W'(f)$ とする。ここまでは従来の技術と同じである。

本発明の特徴は、推定された信号の到来方向が十分に信頼できるかどうかを、信頼性判定部において判定し、信頼できる周波数の集合  $f_{ix}$  を求めることにある。本実施例では以下の条件を満たすかどうかを調べることで判定する。

1. 信号の到来方向の推定値が、源信号の数だけ存在すること 10
  2. 信号の到来方向の推定値が、他の周波数のものと比べて大きく異なること
  3. 各推定値が与える角度において、抑圧されるべき信号が取り出される信号に比べて十分に抑圧されていること
- 1つ目の条件は、到来方向推定部の出力  $\Theta(f)$  が、源信号と同じ数の推定値を持っているかどうかで判定できる。2つ目の条件は、推定された信号の方向をソートした後、すべての周波数による平均を計算し、その平均と大きく異ならなければ条件を満たすと判定できる。例えば源信号が2個の場合、推定方向の全周波数での平均が  $54^\circ$  と  $137^\circ$  であるとする。ある周波数で推定方向が  $53^\circ$  と  $134^\circ$  であれば、これらは大きく異なるため条件を満たすが、別の周波数で推定方向が  $20^\circ$  と  $91^\circ$  であれば大きく異なるため条件を満たしていないと見なす。3つ目の条件は、各推定値が与える角度における指向特性  $B_i(f, \theta_i)$  のゲインを計算することで判定できる。例えば、図7に示す指向特性では、 $3152\text{ Hz}$ 、 $3156\text{ Hz}$  双方において、抑圧されるべき信号が十分に抑圧されているため条件を満たす。一方、図8に示す  $312\text{ Hz}$  の指向特性では、 $\Theta(312\text{ Hz}) = [114, 70]^T$  であり、それぞれの角度における指向特性のゲインを計算すると、 $B_1(312\text{ Hz}, 114) = 0.601$ 、 $B_2(312\text{ Hz}, 114) = 0.537$ 、 $B_1(312\text{ Hz}, 70) = 0.325$ 、 $B_2(312\text{ Hz}, 70) = 0.743$  となる。取り出される信号と抑圧されるべき信号のゲインの比を計算すると、それぞれ、 $0.537 / 0.601 = 0.894$ 、 $0.325 / 0.743 = 0.437$  であり、十分に抑圧されていないとみなせるため、条件を満たしていないと考える。 20

【外4】 30

以上の方法により、分離行列 $W(f)$ から信号の到来方向を推定して

permutationを解決し、同時にその推定値が十分に信頼できるかどうかの判定を行った。

信頼できる周波数は  $f_{ix}$  の要素となっている。 $f_{ix}$ に属さない周波数では、信号の到来方向の推定値が十分に信頼できないため、次の分離信号の類似度による permutation の解決に頼る必要がある。

【0013】 40

【分離信号の類似度による permutation の解決】

図6は、分離信号の類似度による permutation 解決部の構成を示すブロック図である。

【外5】

分離信号生成部では、分離行列 $W(f)$ と観測信号を短時間フーリエ変換した信号 $X(f, m)$ から分離信号 $Y(f, m)$ を生成する。

包絡線計算部では、式(2)に従って、分離信号の絶対値の包絡線

$$V(f, n) = [V_1(f, n), \dots, V_p(f, n)]^T$$

を計算する。

ここまでは従来の技術と同じである。

本発明の特徴は、信号の到来方向に基づいて決定された permutation のうち、集合 fix に属する周波数の permutation を変更することなく、集合 fix に属さない周波数の permutation を、分離信号の絶対値の包絡線 $V(f, n)$ の相関に基づいて決定していくことにある。これは類似度(相関)による permutation 決定部で行われる。

本実施例では、既に permutation が決定した(すなわち集合 fix に属する) 20 周波数との包絡線の相関を、明らかに大きくできる周波数から permutation を決めていく。そのための具体的なアルゴリズムを図9に示す。

まず、集合 fix に属さないすべての周波数 $f$ において、周波数の差が $D$ 以下の近傍で集合 fix に属する周波数との包絡線の相関の和

【数6】

$$\sum_{|g-f| \leq D, g \in \text{fix}} \sum_{p=1}^N \text{cor}[V_{\pi(p)}(f), V_{\pi(g)}(g)] \quad (4)$$

を最大にする permutation とその最大値 $\max \text{Cor}_i$ を求める。ここで $\pi_i$ は周波数 $g$ での permutation である。次に、 $\max \text{Cor}_i$ が最大となる周波数 $i$ を選び、その permutation を $\pi_i$ として決定し、周波数 $i$ を fix の要素とする。なお、 $\text{permute}(W, \pi)$ は、permutation  $\pi$ に従って $W$ の行を入れ替える関数である。

以上の方法により、すべての周波数において permutation が決定する。

【0014】

本発明のブラインド信号分離装置は、CPUやメモリ等を有するコンピュータと、ユーザが利用する端末と、CD-ROM、磁気ディスク装置、半導体メモリ等の機械読み取り可能な記録媒体とから構成することができる。記録媒体に記録されたブラインド信号分離プログラムあるいは回線を介して伝送されたブラインド信号分離プログラムはコンピュータに読み取られ、コンピュータ上に前述した各構成要素及び処理を実現する。

【0015】

【発明の効果】

従来技術および本発明を用いて、2つの音源を分離した際の分離性能の比較を図10に示す。

本結果を得るに際し、残響時間300msのインパルス応答に、ASJ研究用音声コーパスから選んだ8秒の音声データ12組を畳み込んで混合信号を作成した。縦軸はSNR (signal-to-noise ratio) として計算した分離性能に対応し、横軸は音声データの組に対応する。"av"は12組の平均である。比較のため permutation の解決には以下の3つの方法を用いた。"dir"は信号の到来方向による方法、"cor"は分離信号の類似度による方法、"both"は双方を併用した本発明に

よる方法である。" d i r " は安定的に解決しているが性能が不十分であるのに対し、" c o r " は非常に良い場合もあるが悪い場合もあり安定性に欠ける。" b o t h " は常に良い性能となっており、本発明の効果が確認できる。

信号の到来方向による方法では方向という絶対的な基準で p e r m u t a t t i o n を解決するため、精度にはやや欠けるが、大きく間違えることが少ない。一方、分離信号の類似度による方法では、高い精度で p e r m u t a t t i o n を解決できるが、どこかで間違った時の被害が大きい。本発明は、これら2種類の利点を活かして統合しているため、安定的に高い精度で p e r m u t a t t i o n を解決できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】ブラインド信号分離の概要を説明するための図。

10

【図2】周波数領域で独立成分分析を用いるブラインド信号分離装置の構成を示すブロック図。

【図3】本発明のブラインド信号分離方法の手順を示す図。

【図4】本発明における p e r m u t a t t i o n 解決部の構成を示すブロック図。

【図5】図4における信号到来方向による p e r m u t a t t i o n 解決部の構成を示すブロック図。

【図6】図4における分離信号の類似度による p e r m u t a t t i o n 解決部の構成を示すブロック図。

【図7】3152Hz, 3156Hzにおける指向特性のゲインをプロットした図。

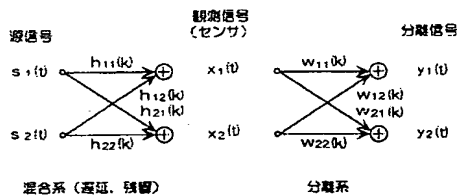
【図8】312Hzにおける指向特性のゲインをプロットした図。

20

【図9】分離信号の類似度による p e r m u t a t t i o n 決定部のアルゴリズムを示す図。

【図10】従来方法と本発明による方法の分離性能の比較を行う図。

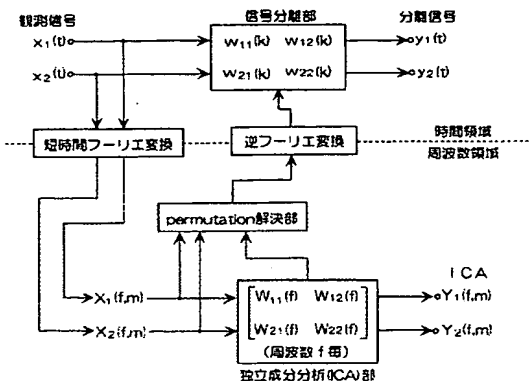
【図1】



ブラインド信号分離の概要

図1

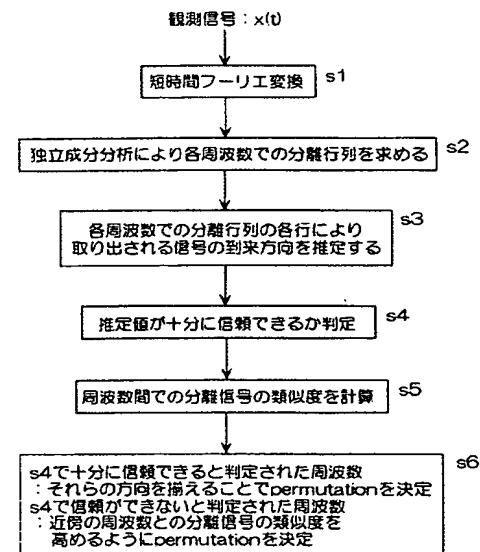
【図2】



周波数領域で独立成分分析を用いるブラインド信号分離装置

図2

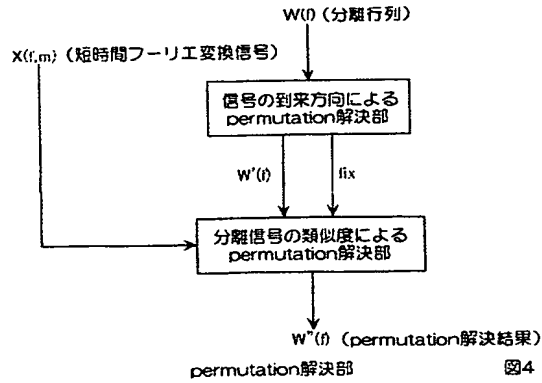
【図3】



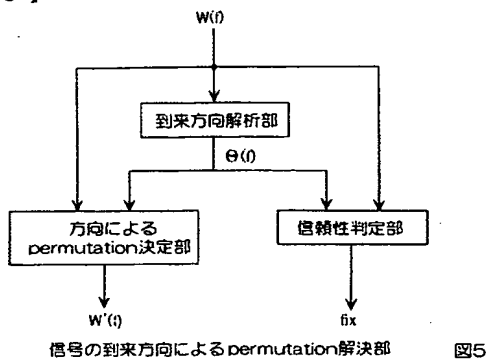
周波数領域でのブラインド信号分離方法の手順

図3

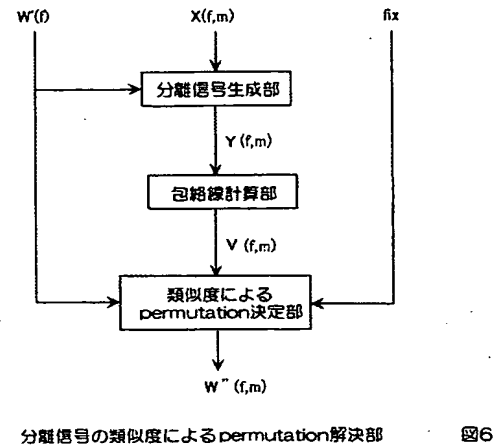
【 図 4 】



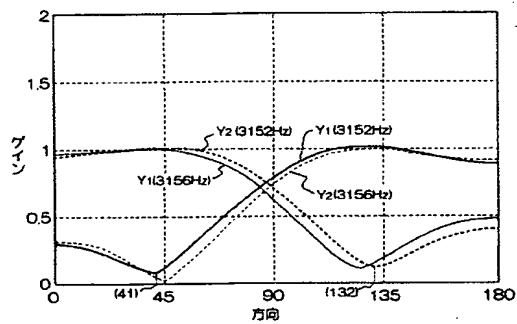
【 図 5 】



【 図 6 】

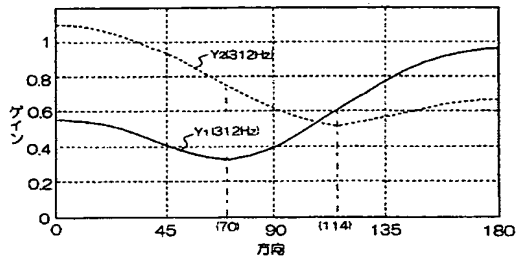


【 図 7 】



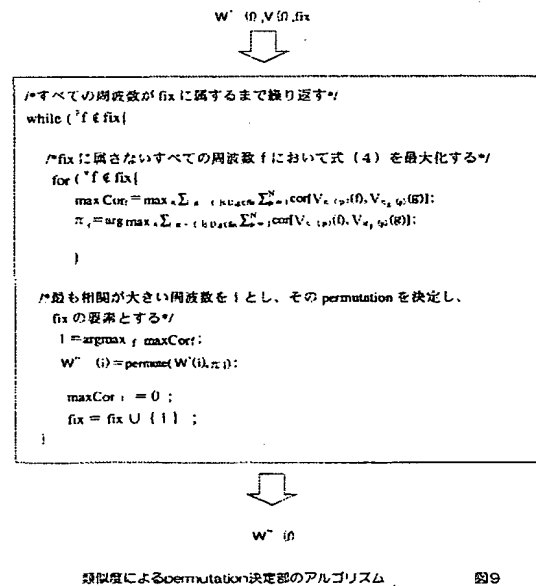
3152Hz, 3156Hzにおける指向特性のゲインのプロット

【 図 8 】

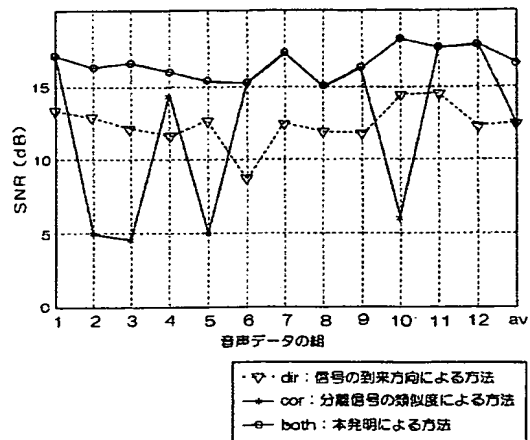


312Hzにおける指向特性のゲインのプロット

【 図 9 】



【 図 10 】



分離性能の比較

図10

---

フロントページの続き

(72)発明者 荒木 章子

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 牧野 昭二

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 5D015 DD00 EE05

5J083 AA05 AB09 AC28 AD18 BE08